

ANALISIS DEFLEKSI BATANG LENTURMENGUNAKAN TUMPUAN JEPIT DAN ROLPADA MATERIAL ALUMINIUM 6063 PROFIL U DENGAN BEBAN TERDISTRIBUSI

Basori, Syafrizal, Suharwanto
Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Nasional
e-mail : ory_banjarn@yahoo.com

ABSTRAK

Dalam perencanaan suatu konstruksi, perhitungan defleksi/kelenturan dan tegangan pada elemen-elemen sangat diperlukan. Defleksi dan tegangan yang terjadi pada elemen-elemen yang mengalami pembebanan harus pada suatu batas yang diijinkan, karena jika melewati batas yang diijinkan, maka akan terjadi kerusakan pada elemen-elemen tersebut ataupun pada elemen-elemen lainnya. Oleh karena itu pengujian defleksi, reaksi momen dan tegangan pada suatu material perlu dilakukan dengan tujuan untuk menentukan kekuatan material sehingga dapat diketahui batas aman material pada saat pembebanan maksimal. Pengujian defleksi material aluminium 6063 profil U menggunakan alat uji lentur dengan tumpuan Jepit dan Rol pada tiga titik pusat pembebanan dengan jarak 200 mm, 465 mm, dan 700 mm dari tumpuan jepit. Pengujian dilakukan dengan beban merata di setiap titik, yaitu dari beban 6,572 N, 13,145 N, 15,169 N sampai dengan beban 22,269 N. Dari hasil pembebanan didapatkan bahwa nilai momen yang terjadi di titik kesatu pada jarak 200 mm dari tumpuan jepit yaitu sebesar 2581,98 Nmm dengan beban 22,269 N, kemudian di titik kedua pada jarak 465 mm yaitu sebesar 3793,47 Nmm dengan beban 22,269 N, dan selanjutnya di titik ketiga pada jarak 700 mm yaitu sebesar 352,78 Nmm dengan beban 22,269 N. Sedangkan besarnya tegangan yang terjadi pada momen 2581,98 Nmm adalah 1,42 N/mm², pada momen 3793,47 Nmm tegangan yang di timbulkan sebesar 1,79 N/mm², dan pada momen 352,78 Nmm tegangan yang terjadi sebesar 0,34 N/mm². Dari ketiga titik pembebanan, daerah kritis yang terjadi pada batang material aluminium 6063 profil U terdapat pada titik tengah yaitu dengan jarak 465 mm dari tumpuan jepit, dimana pada titik tersebut terdapat nilai defleksi paling tinggi yaitu sebesar 0,22 mm.

Kata kunci : tumpuan jepit, tumpuan rol, defleksi, momen, tegangan

1. PENDAHULUAN

Pengujian defleksi sangat penting dilakukan pada material guna untuk mengetahui kelenturan benda uji ketika mengalami suatu pembebanan, karena defleksi/kelenturan merupakan salah satu faktor penting dalam suatu perancangan konstruksi mesin maupun bangunan, untuk mendapatkan konstruksi yang kokoh atau mampu menerima beban sesuai dengan rancangan.

Dalam perencanaan konstruksi hal yang perlu di perhatikan adalah perhitungan defleksi/lendutan dan tegangan pada elemen-elemen ketika mengalami suatu pembebanan. Hal ini sangat penting terutama dari segi kekakuan (*stiffness*) dan kekuatan (*strength*), dimana pada batang horizontal yang diberi beban secara lateral akan mengalami defleksi. Defleksi dan tegangan yang terjadi pada elemen-elemen yang mengalami pembebanan harus pada suatu batas yang diijinkan, karena jika melewati batas yang diijinkan, maka akan terjadi kerusakan pada elemen-elemen tersebut ataupun pada elemen-elemen lainnya.

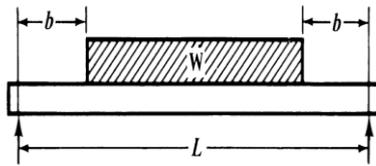
Berdasarkan uraian di atas, maka peneliti akan melakukan analisis pengujian defleksi/lendutan pada batang material aluminium 6063 profil U dengan beban merata pada titik pembebanan yang sudah ditetapkan yaitu, 200 mm, 465 mm dan 700 mm pada tumpuan jepit dan rol. Pengujian tersebut di lakukan di Laboratorium Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik dan Sains Universitas Nasional.

Adapun tujuan dari pengujian batang lentur ini adalah : untuk mengetahui defleksi/lendutan dan reaksi momen serta tegangan terhadap batang material aluminium 6063 Profil U pada saat mendapat beban terdistribusi pada jarak pusat yang telah di tetapkan, untuk mengetahui nilai keamanan pada material uji, dan membandingkan hasil perhitungan defleksi secara teoritis dengan eksperimental.

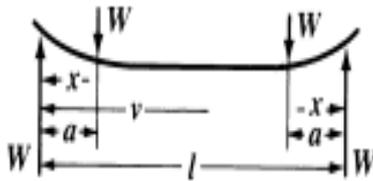
2. DASAR TEORI

2.1 Pengertian Defleksi/Lendutan

Defleksi/lendutan adalah perubahan bentuk pada balok dalam arah y akibat adanya pembebanan vertical yang diberikan pada batang material. Deformasi pada balok dapat dijelaskan berdasarkan defleksi sesuai dengan bahan material, dari posisinya sebelum mengalami pembebanan. Defleksi diukur dari permukaan netral awal ke posisi netral setelah terjadi deformasi. Konfigurasi yang diasumsikan dengan deformasi permukaan netral dikenal sebagai kurva elastis dari balok.



Gambar 2.1. Balok sebelum terjadi deformasi



Gambar 2.2. Balok sesudah terjadi deformasi

Jarak perpindahan y didefinisikan sebagai defleksi balok. Dalam menerapkan konsep ini kadang kita harus menentukan defleksi pada setiap nilai x disepanjang material. Hubungan ini dapat ditulis dalam bentuk persamaan yang sering disebut persamaan defleksi kurva (kurva elastis) dari material.

Sistem struktur yang diletakkan secara horizontal yang terutama di peruntukkan untuk memikul beban lateral, yaitu beban yang bekerja pada posisi tegak lurus sumbu aksial batang. Beban semacam ini khususnya muncul sebagai beban gravitasi, seperti misalnya pada beban itu sendiri, dan lain-lain. Seperti pada konstruksi balok dapat di kemukakan antara lain, balok lantai gedung, jembatan, dan sebagainya. Sumbu sebuah batang akan terdeteksi dari kedudukannya yang semula bila benda dibawah pengaruh gaya terpakai.

Suatu batang material akan mengalami beban transversal baik itu beban terpusat maupun merata akan mengalami defleksi. Setiap pengujian harus dilakukan ketelitian perhitungan untuk meminimalisir terjadinya

kerusakan, sehingga batang material tidak melentur dan untuk memperkecil atau mencegah defleksi yang berlebihan.

Struktur batang material juga harus menghasilkan defleksi (lendutan) yang berada dalam batas-batas tertentu. Lendutan ini tidak boleh terlalu besar sampai melebihi batas defleksi yang diijinkan.

Hal - hal yang mempengaruhi terjadinya defleksi yaitu :

- a. Kekakuan batang
Batang yang sifatnya semakin kaku maka lendutan yang dihasilkan akan semakin kecil.
- b. Besarnya kecil gaya yang diberikan
Besarnya kecilnya gaya yang diberikan pada batang berbanding lurus dengan besarnya defleksi yang terjadi. Dengan kata lain semakin besar beban yang dialami batang maka defleksi yang terjadi semakin besar.
- c. Jenis tumpuan yang diberikan
Jumlah reaksi dan arah pada tiap jenis tumpuan berbeda-beda. Oleh karena itu besarnya defleksi pada penggunaan tumpuan yang berbeda-beda tidaklah sama. Semakin banyak reaksi dari tumpuan yang melawan gaya dari beban maka defleksi yang terjadi pada tumpuan rol lebih besar dari tumpuan pin (pasak) dan defleksi yang terjadi pada tumpuan pin lebih besar dari tumpuan jepit.
- d. Jenis beban yang terjadi pada batang
Beban terdistribusi merata dengan beban titik, keduanya memiliki kurva defleksi yang berbeda-beda. Pada beban terdistribusi yang terjadi pada bagian batang yang paling dekat lebih besar. Inikarena sepanjang batang mengalami beban sedangkan pada beban titik hanya terjadi pada beban titik tertentu saja. Beban terdistribusi merata dengan beban titik, keduanya memiliki kurva defleksi. Untuk setiap batang yang ditumpu akan melendut apabila diberikan beban yang cukup besar, dimana pada bagian-bagian tertentu seperti struktur jembatan, lendutan sangat tidak diizinkan karena dengan adanya lendutan yang besar maka struktur jembatan tersebut akan mengalami kerusakan dan akan mengakibatkan jembatan tersebut menjadi roboh. Pada semua konstruksi teknik, bagian-bagian pelengkap suatu bangunan haruslah diberi ukuran-ukuran fisik yang tertentu. Bagian-bagian tersebut haruslah diukur dengan tepat untuk menahan gaya-gaya yang sesungguhnya atau yang

mungkin akan dibebankan kepada struktur jembatan tersebut. Jadi struktur jembatan haruslah diperlukan untuk menahan gaya-gaya luar dan dalam. Demikian pula, bagian-bagian suatu struktur material harus cukup kuat sehingga tidak akan melentur melebihi batas yang diizinkan bila bekerja dibawah beban yang diizinkan.

2.2 ReaksiTumpuandan Diagram Momen

Untuk batang tumpuan jepit dan roll, dengan kondisi pembebanan sejauh x maka reaksi tumpuan dan nilai-nilai momen yang terjadi pada batang lentur dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

Reaksi tumpuan roll

$$R_1 = V_1 = \frac{Pb^2}{2l^3} (a + 2l) \tag{2.1}$$

Reaksi tumpuan jepit

$$R_2 = V_2 = \frac{Pa}{2l^3} (3l^2 - a^2) \tag{2.2}$$

Defleksi

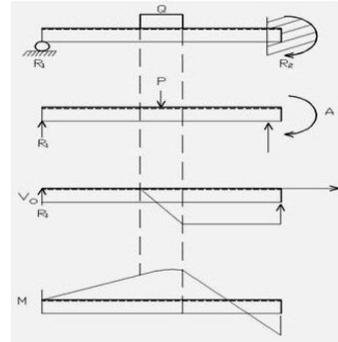
$$\delta = \frac{Q(a-c)^4}{24 EI} (1 - a) \tag{2.3}$$

$$M_x = R_1x, \text{ untuk } x \leq a \tag{2.4}$$

$$M_x = R_1x - \frac{Q}{2} (x - c)^2 \text{ untuk } (x \geq a \leq Q) \tag{2.5}$$

Dimana :

- δ = Defleksi batang lendut(mm)
- M_x = Momen (N.mm)
- R_1 = Reaksi tumpuan roll(N)
- R_2 = Reaksi tumpuan jepit (N)
- a = Jarak titik pusat beban dari tumpuan roll (mm)
- x = Jarak perpotongan momen (mm)
- c = Jarak dari tumpuan roll ke beban (mm)
- Q = Beban terdistribusi (N/mm)
- l = Panjang benda uji / jarak total(mm)
- E = Modulus elastisitas (N/mm²)
- I = Inersia (mm⁴)



Gambar 2.4. Diagram gaya geser dan diagram momen tumpuan jepit dan roll.

2.3 AlatUkurDefleksi

Adapun alat ukur yang bisa digunakan untuk mengetahui defleksi batang lentur yaitu :

1. *Strain gauge*

Strain gauge yang digunakan berfungsi sebagai sensor aktif yang mendeteksi tegangan yang terjadi pada *load cell*. Pada alat uji defleksi terdapat dua strain gauge yaitu strain gauge pada tumpuan jepit dan stain gauge pada tumpuan roll.

a. *Strain gauge* pada tumpuan jepit

Strain gauge pada tumpuan dirancang untuk mengukur momen lengkung dari batang yang dijepit. Gaya bekerja tegak lurus dari batang dengan arah searah atau berlawanan arah jarum jam. Rangkaian strain gauge terdiri dari dua buah di sisi atas dan dua buah disisi bawah. Rangkaian dilengkapi dengan multiturn potensiometer untuk mebalance rangkaian untuk memproleh output sama dengan nol saat tanpa beban. Sisi atas dan bawah akan mengalami regangan dan kompresi sesuai dengan arah gaya yang bekerja seperti pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. *Strain gauge* pada tumpuan jepit

b. *Strain gauge* pada tumpuan roll

Strain gauge pada tumpuan Roll diaplikasikan pada pengukuran gaya tegak lurus dan horizontal arah radial dari ring. Pada gambar dirancang

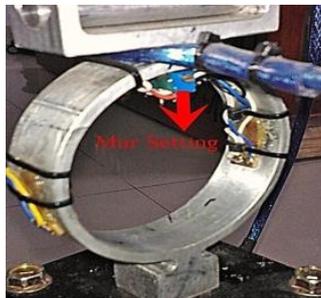
untuk mengukur gaya tegak lurus. Rangkaian dari *strain gauge* digunakan jembatan *Wheatstone* yang terdiri dari empat buah *strain gauge* yang dipasang dua pada bagian sisi dalam dan dua pada sisi luar silinder ring. *Strain gauge* bagian luar akan mengalami regangan, sedangkan dua *strain gauge* bagian dalam mengalami kompres. Pada rangkaian ini dilengkapi dengan multiturn potensiometer untuk membalance tegangan output sama dengan nol.



Gambar 2.4. *Strain gauge* pada tumpuan rol

2. *Mur Setting* pada tumpuan Rol

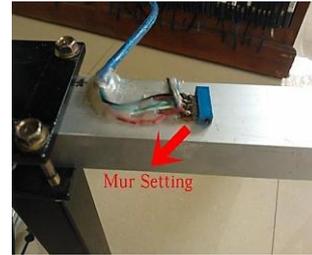
Mur setting pada tumpuan rol ini bertujuan untuk menyetting kembali bahwa angka *Strain gauges* pada tumpuan rol harus dalam posisi menunjukkan angka NOL tanpa beban seperti terlihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 2.5. *Mur setting* pada tumpuan rol

3. *Mur setting* pada tumpuan jepit

Mur penyetting pada tumpuan jepit ini pun sama bertujuan untuk menyetting kembali bahwa angka *strain gages* pada tumpuan jepit harus dalam posisi menunjukkan angka NOL tanpa beban seperti terlihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6. *Mur setting* pada tumpuan jepit

4. Dial indicator

Dial indikator adalah salah satu alat ukur yang dapat mengukur kerataan benda kerja yang ketelitiannya 0,01mm.



Gambar 2.7. Dial indicator

Fungsi dial indikator adalah :

- Memeriksa kerataan dari permukaan benda
- Memeriksa penyimpangan yang kecil pada bidang datar, benda bulat, benda permukaan lengkung
- Memeriksa penyimpangan eksentris
- Memeriksa kesejajaran permukaan benda.

Cara mengukur dengan menggunakan dial indikator adalah sebagai berikut :

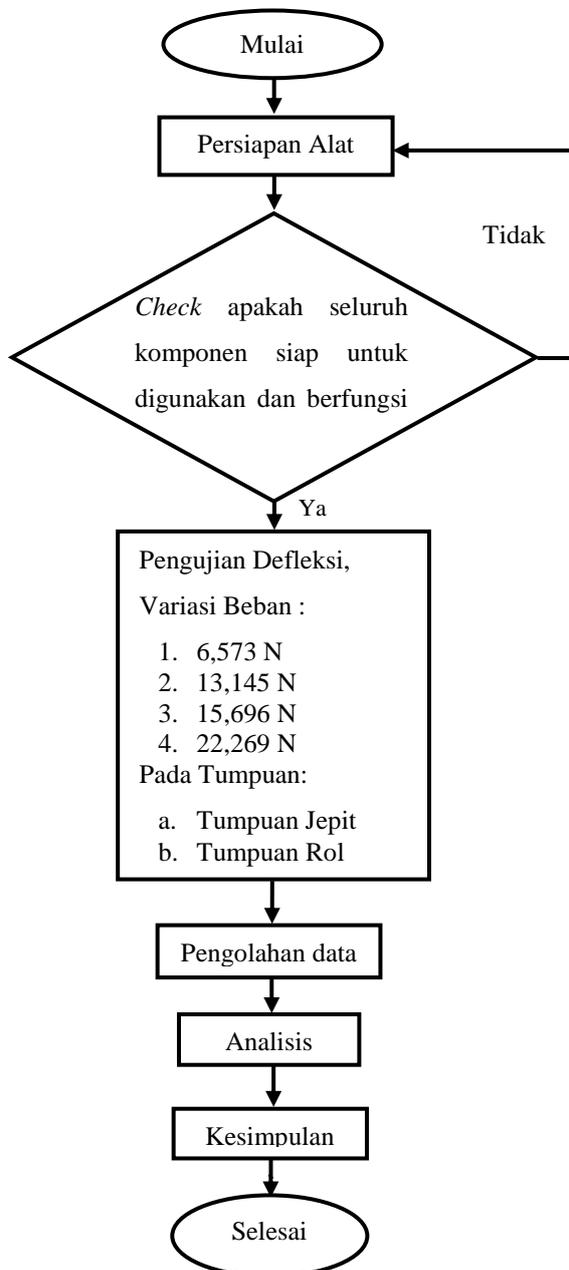
- Masukkan tangkai dial indikator pada lubang pengunci yang ada pada tiang *dial indicator*, kemudian kencangkan baut pengencangnya.
- Masukkan bagian dial indikator yang terdapat skala dan jarum pada tangkai dial indikator kemudian kencangkan.
- Baca gambar kerja kemudian bersihkan benda kerja dari kotoran kemudian lakukan pengukuran, yang pertama hidupkan aliran magnet pada dial indikator tersebut dengan memindahkan tombol yang ada pada bagian bawah ke posisi on.
- Posisikan jarum dial indikator tepat dia atas permukaan benda kerja sampai menyentuh atau terjadi

gesekan antara jarum dengan benda kerja.

- e) Kemudian benda kerja digeserkan ke kanan atau ke kiri apabila jarum pada dial indikator itu berputar searah jarum jam maka benda kerja tersebut permukaannya cembung atau menonjol ke atas, sedangkan apabila jarum pada dial indikator berputar berlawanan dengan arah jarum jam maka benda tersebut cekung.

3. PROSEDUR PENGUJIAN

Diagram alir langkah-langkah proses pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



Peralatan yang digunakan dalam penelitian uji defleksi pada material aluminium 6063 pada batang uji profil U ini adalah alat uji defleksi batang lentur seperti pada gambar 3.3.



Gambar 3.3. Mesin uji defleksi batang lentur

Keterangan gambar alat uji defleksi :

- a. Strain gauge
- b. Tumpuan Jepit
- c. Beban
- d. Dial indikator
- e. Batang uji (Aluminium 6063 profil U)
- f. Tumpuan rol

Alat uji defleksi batang lentur mempunyai spesifikasi teknis, berikut ini adalah data spesifikasi data alat uji batang lentur seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.1 di bawah ini :

Tabel 3.1. Spesifikasi data alat uji batang lentur

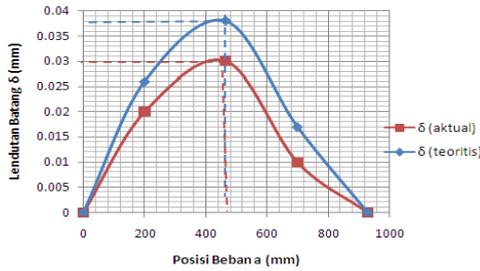
No	Komponen & Lambang	Satuan
1	Panjang batang (L)	930 mm
2	Lebar batang (wb)	38 mm
3	Tebal batang (h)	3 mm
4	Lebar cincin (wc)	20 mm
5	Tebal cincin (t)	3 mm
6	Luas penampang Acincin	60 mm ²
7	Luas penampang Abatang	246 mm ²
8	Momen inersia batang (I)	14967,47 mm ⁴
9	Modulus elastisitas (E)	68.9GPa
10	Regangan esitasi (Ue)	12 Volt
11	Faktor pengali amplifier (Sc)	15000
12	Konstanta (k)	2,1
13	Radius cincin r ₁	33,5 mm
14	Radius cincin r ₂	36,5 mm
15	Radius rata-rata cincin	35 mm
16	Radius kurva cincin (R)	34,979 mm

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

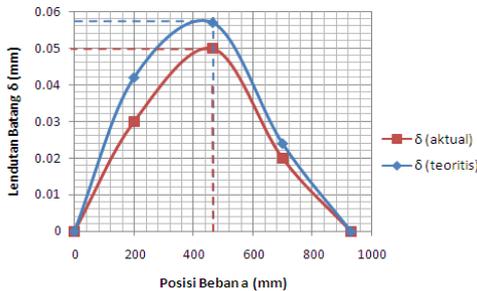
4.1 Hasil Pengujian

Material uji batang lentur terbuat dari Aluminium 6063 Profil U. Dari hasil perhitungan dan pengujian defleksi dapat diketahui bahwa lendutan batang hasil uji lentur dengan pembebanan terdistribusi pada material

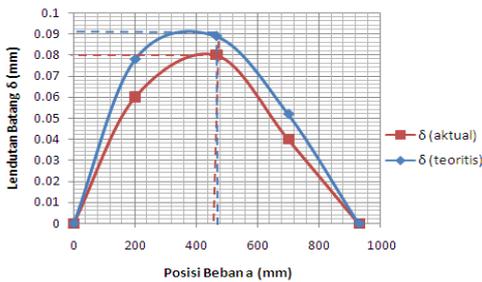
aluminium 6063 profil U dapat dilihat seperti pada Gambar 4.1 s/d Gambar 4.4 di bawah ini.



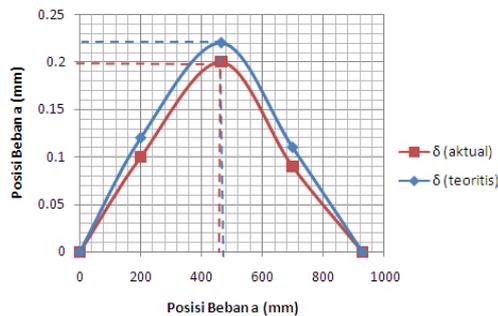
Gambar 4.1 Grafik lendutan batang lentur δ (mm) pada pembebanan 6,573 N



Gambar 4.2 Grafik lendutan batang lentur δ (mm) pada pembebanan 13,1454 N



Gambar 4.3 Grafik lendutan batang lentur δ (mm) pada pembebanan 15,696 N



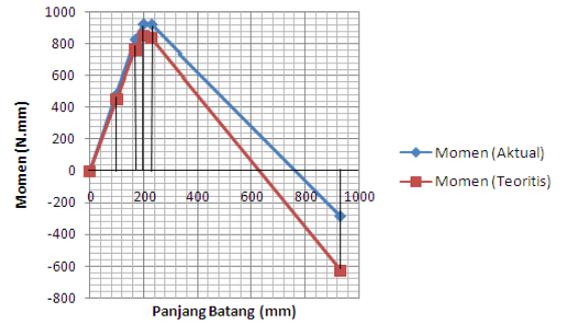
Gambar 4.4 Grafik lendutan batang lentur δ (mm) pada pembebanan 22,687 N

Dari Gambar 4.1 s/d Gambar 4.4, terdapat suatu kisaran nilai lendutan maksimum pada posisi 430 mm sampai dengan 450 mm dengan nilai defleksi 0,2 mm sampai dengan 0,22 mm pada pembebanan 22,269 N. Berdasarkan

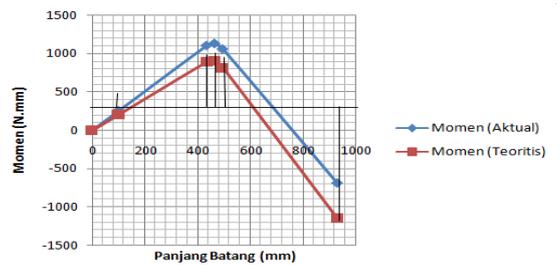
Gambar 4.1 s/d Gambar 4.4 di atas, dapat diketahui bahwa nilai defleksi yang paling tinggi terjadi di titik 465 mm dari tumpuan jepit.

4.2 Analisa Momen Batang Lentur

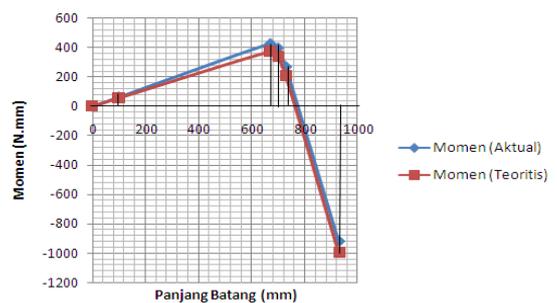
Dari hasil perhitungan dan pengujian momen batang dapat diketahui bahwa momen batang lentur dengan pembebanan terdistribusi pada material aluminium 6063 profil U dapat dilihat seperti pada Gambar 4.5 s/d Gambar 4.16 di bawah ini.



Gambar 4.5 Grafik diagram momen batang pada beban 6,573 N & Jarak $a = 200$ mm



Gambar 4.6 Grafik diagram momen batang pada beban 6,573 N & Jarak $a = 465$ mm

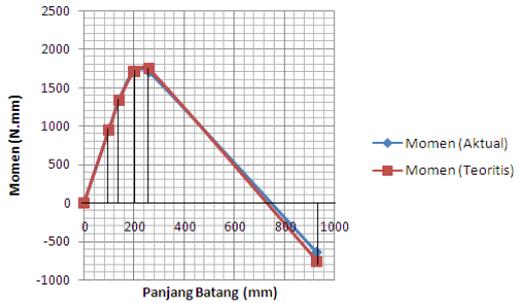


Gambar 4.7 Grafik diagram momen batang pada beban 6,573 N & Jarak $a = 700$ mm

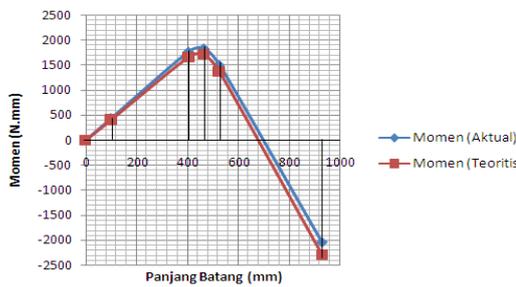
Berdasarkan Gambar 4.5 s/d Gambar 4.7 terdapat 2 nilai ekstrim yaitu pada konsentrasi beban terdistribusi dan pada tumpuan jepit.

Dari ketiga titik pusat pembebanan dengan beban terdistribusi 6,573 N di atas, dapat diketahui bahwa nilai ekstrim paling tinggi sebesar 2432,04 N.mm dan terjadi pada daerah

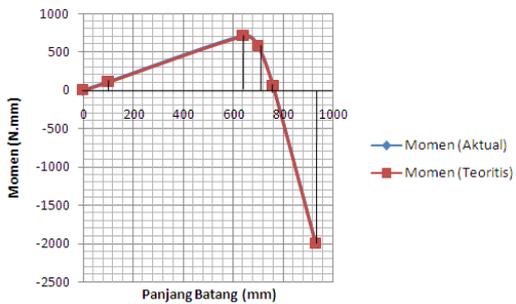
tumpuan jepit dengan pembebanan pada titik pusat massa (a) 465 mm.



Gambar 4.8 Grafik diagram momen batang pada beban 13,145 N & Jarak a = 200 mm



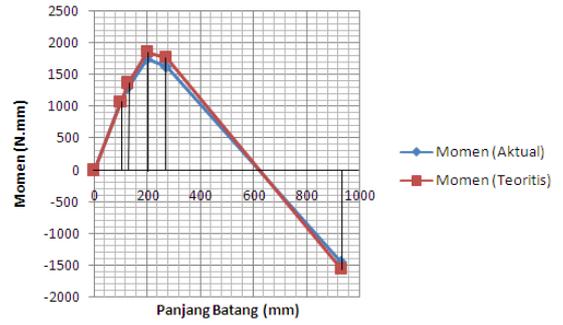
Gambar 4.9 Grafik diagram momen batang pada beban 13,145 N & Jarak a = 465 mm



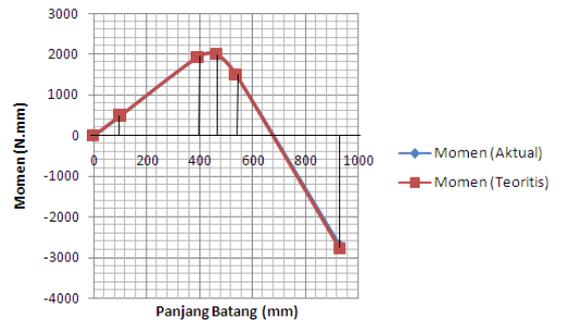
Gambar 4.10 Grafik diagram momen batang pada beban 13,145 N & Jarak a = 700 mm

Berdasarkan Gambar 4.8 s/d Gambar 4.10, terdapat 2 nilai ekstrim yaitu pada konsentrasi beban terdistribusi dan pada tumpuan jepit.

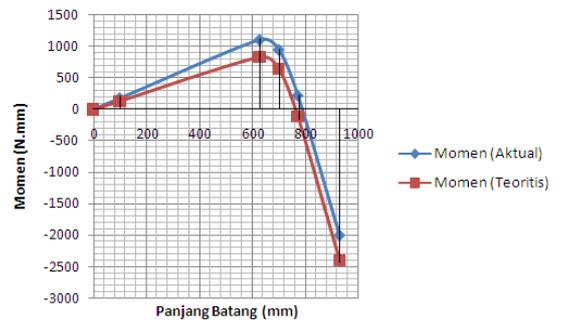
Dari ketiga titik pusat pembebanan dengan beban terdistribusi 13,145 N diatas, dapat diketahui bahwa nilai ekstrim paling tinggi sebesar 2289,66 N.mm dan terjadi pada daerah tumpuan jepit dengan pembebanan pada titik pusat massa (a) 465 mm.



Gambar 4.11 Grafik diagram momen batang pada beban 15,696 N & Jarak a = 200 mm

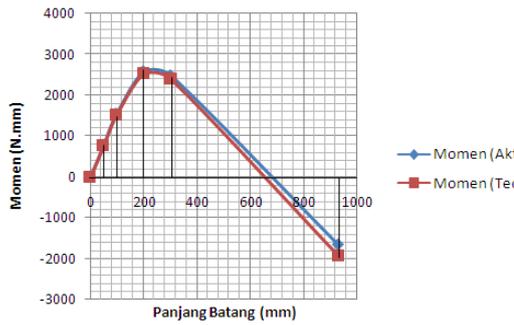


Gambar 4.12 Grafik diagram momen batang pada beban 15,696 N & Jarak a = 465 mm

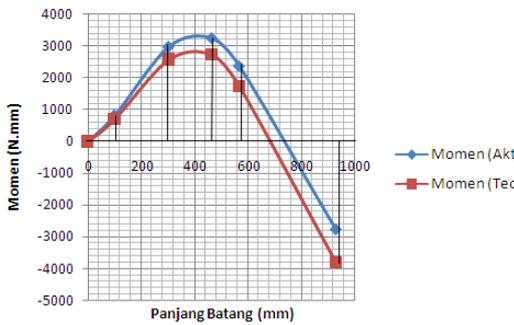


Gambar 4.13 Grafik diagram momen batang pada beban 15,696 N & Jarak a = 700 mm

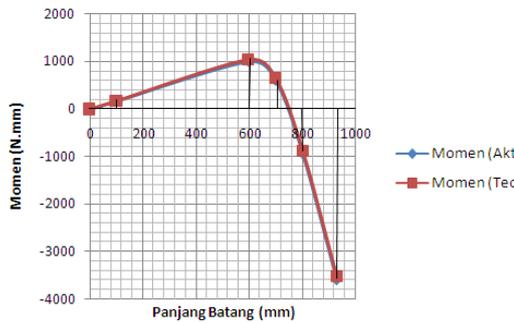
Berdasarkan Gambar 4.11 s/d Gambar 4.13, terdapat 2 nilai ekstrim yaitu pada konsentrasi beban terdistribusi dan pada tumpuan jepit. Dari ketiga titik pusat pembebanan dengan beban terdistribusi 15,696 N diatas, dapat diketahui bahwa nilai ekstrim paling tinggi sebesar 2770,47 N.mm dan terjadi pada daerah tumpuan jepit dengan pembebanan pada titik pusat massa (a) 465 mm.



Gambar 4.14 Grafik diagram momen batang pada beban 22,2687 N & Jarak a = 200 mm



Gambar 4.15 Grafik diagram momen batang pada beban 22,696 N & Jarak a = 465 mm



Gambar 4.16 Grafik diagram momen batang pada beban 22,2687 N & Jarak a = 700 mm

Berdasarkan Gambar 4.14 s/d Gambar 4.16, terdapat 2 nilai ekstrim yaitu pada konsentrasi beban terdistribusi dan pada tumpuan jepit

Dari ketiga titik pusat pembebanan dengan beban terdistribusi 22,269 N diatas, dapat diketahui bahwa nilai ekstrim paling tinggi sebesar 3793,47 N.mm dan terjadi pada daerah tumpuan jepit dengan pembebanan pada titik pusat massa (a) 465 mm.

4.3 Analisis Tegangan Momen

Hasil perhitungan tegangan terhadap reaksi momen (Maktual dan Mteoritis) dengan perpotongan jarak pada pengujian defleksi batang lentur untuk material aluminium 6063 profil U dapat dikatakan besarnya nilai tegangan

selaras dengan nilai momen, dimana nilai tegangan tertinggi sebesar 1,79 N/mm² terjadi pada momen sebesar 3793,47 Nmm dengan beban pengujian 22,269 N berada pada titik kedua yaitu pada jarak 465 mm.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

a. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian terhadap batang material aluminium 6063 profil U dengan beban terdistribusi, maka dapat diambil kesimpulan yaitu :

1. Fenomena defleksi batang lentur yang terjadi pada titik kesatu dengan jarak 200 mm dari tumpuan jepit yaitu menghasilkan momen sebesar 2581,98 Nmm pada beban 22,269 N, kemudian pada titik kedua dengan jarak 465 mm dari tumpuan jepit, momen yang dihasilkan sebesar 3793,47 Nmm pada beban 22,269 N, sedangkan pada titik ketiga dengan jarak 700 mm nilai momen yang terjadi sebesar 352,78 Nmm yaitu pada beban 22,269 N.
2. Besarnya tegangan pada titik kesatu dengan jarak 200 mm dari tumpuan jepit yaitu sebesar 1,42 N/mm² dengan momen 2581,98 N.mm, kemudian pada titik kedua dengan jarak 465 mm sebesar 1,79 N/mm² dengan momen 3793,47 N.mm, sedangkan pada titik ketiga dengan jarak 700 mm dari tumpuan jepit nilai tegangannya yaitu sebesar 0,34 N/mm², dengan momen 352,78 N.mm.
3. Dari ketiga titik pusat pembebanan pada tumpuan jepit dan rol, nilai ekstrim terdapat pada titik kedua yaitu pada jarak 465 mm dari tumpuan jepit dengan nilai defleksi sebesar 0,2 sampai dengan 0,22 mm.

b. Saran

Untuk mendapatkan hasil yang optimal perlu dilakukan pengujian dengan merubah titik pembebanan yang telah penulis lakukan untuk mengetahui defleksi di titik lain pada material aluminium 6063 profil U.

REFERENSI

- [1] Popov, E.P., Zainul Astamar, 1993. Mekanika Teknik (Terjemahan). Penerbit Erlangga, Jakarta.
- [2] Singer, Ferdinand L, Pytel Andrew, Darwin Sebayang, 1995. Ilmu Kekuatan Bahan (Terjemahan). Penerbit Erlangga, Jakarta.
- [3] Mustopa, Analisis Teoritis dan Eksperimental Lendutan Pada Batang Balok Sediempat Dengan Variasi Tumpuan, Universitas Tadulako, Palu..
- [4] Nash A. William, Strength of Materials Second Edition., Mcgraw-Hill International Book Company, Singapura, 1983
- [5] Asyari Darami Yunus, Diktat Mekanika Kekuatan Material, Universitas Dharma Persada, Jakarta, 2010.
- [6] Nieman, G, Anton Budiman dan Bambang Priambodo, 1994. Elemen Mesin (Terjemahan). Penerbit Erlangga, Jakarta.
- [7] American forest & Paper associety, inc,2007, beam Formula With Shear and momen Diagram, American wood council. awcinfo@afandpa.org
- [8] JOHN CASE, Fourth edition, 1999, Strength of Materials and Structures, by Arnold, a member of the Hodder Headline Group.